

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle**
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
11 août 2005 (11.08.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/073757 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01T 1/17

F-38760 Varces Allieries Et Risset (FR). **ROSTAING,
Jean-Pierre** [FR/FR]; 1, chemin des Artilleries, F-38260
La Cote Saint Andre (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2004/003406

(22) Date de dépôt international :

29 décembre 2004 (29.12.2004)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

0351223 30 décembre 2003 (30.12.2003) FR

**(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];**
31-33 rue de la fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(72) Inventeurs; et

**(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : AU-
DEBERT, Patrick [FR/FR]; 11, impasse du Taillefer,**

**(74) Mandataire : LEHU, Jean; c/o BREVATOME, 3, rue du
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).**

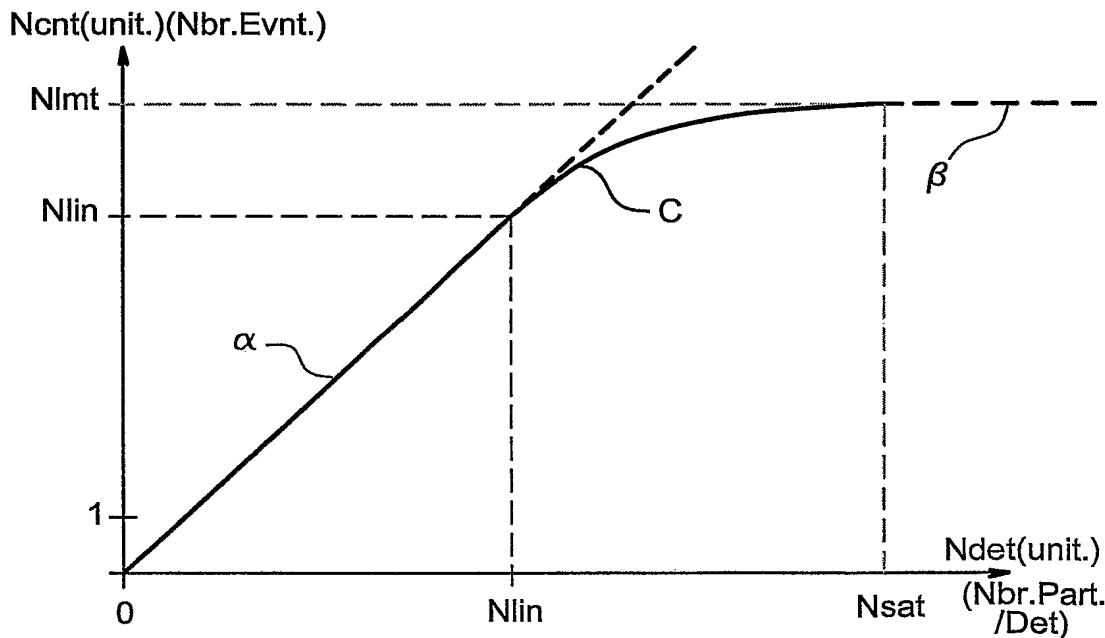
**(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.**

**(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT,**

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: RADIATION DETECTING SYSTEM WITH DOUBLE RESETTING PULSE COUNT

**(54) Titre : SYSTEME DE DETECTION DE RAYONNEMENTS A COMPTAGE D'IMPULSIONS A DOUBLE REMISE A
ZERO**



WO 2005/073757 A1

[Suite sur la page suivante]



BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abstract: The invention concerns a device for measuring exposure to radiation comprising at least one device for detecting photons or particles associated with at least one circuit for acquiring and counting detection events. The invention provides that the response curve of the number of counted events based on the number of photons or particles sensed by each sensing element, is monotone increasing.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif de mesure d'exposition à des rayonnements comprenant au moins un élément de détection de photons ou de particules associé à au moins un circuit d'acquisition et de comptage des événements de détection. L'invention prévoit que la courbe de réponse du nombre d'événements comptés en fonction du nombre de photons ou de particules captés par chaque élément de détection, est monotone croissante.

**SYSTEME DE DETECTION DE RAYONNEMENTS A COMPTAGE
D'IMPULSIONS A DOUBLE REMISE A ZERO**

La présente invention concerne le domaine des dispositifs de mesure d'exposition à des rayonnements et s'applique de manière générale à la détection de tous types de rayonnement de nature corpusculaire ou ondulatoire, comme les rayonnements de particules et les rayonnements de photons, notamment les radiations de protons, de neutrons, d'électrons ou de positrons, les rayonnements α, β, γ , les photons de rayons X, les photons de lumière visible et les photons en dehors du visible.

On connaît dans l'état de la technique des dispositifs de détection de rayonnement dont la structure est formée d'un ou plusieurs éléments détecteurs associés à une électronique de traitement et de comptage des impulsions générées par l'élément de détection lors d'un évènement de capture d'un photon ou d'une particule.

On connaît en particulier des dispositifs de mesure de rayonnements agencés selon une architecture matricielle qui comporte une entité de détection associée à une entité électronique de traitement/acquisition.

L'ensemble matriciel formé par l'entité de détection (communément appelée «circuit de détection») associé à l'entité électronique d'acquisition et de comptage, (communément appelé «circuit de lecture») constitue un « senseur ».

L'entité de détection peut être formé par un gaz, un scintillateur associé à un semi-conducteur, ou par des couches de matériau détecteur, qui absorbent les photons ou les particules et les transforment 5 finalement en impulsions électriques (paquet de charges électroniques).

L'expression de « paquet de charges » désigne ici de manière générale, des paquets de charges positives ou négatives notamment des trous ou des 10 électrons ou des paires positrons-électrons.

L'entité électronique est formée d'un agencement matriciel de circuits électroniques de traitement et d'acquisition ayant pour fonction d'effectuer un comptage des évènements de détection des 15 photons ou des particules.

Les circuits électroniques matriciels peuvent être réalisés en technologie silicium, par exemple en filière Bipolaire, CMOS ou BiCMOS.

Les senseurs matriciels peuvent être 20 décomposés en réseau de pixels, chaque pixel étant formé de l'association d'un détecteur élémentaire associé à une chaîne d'acquisition électronique correspondante.

L'invention s'adresse de manière générale 25 aux dispositifs comportant des détecteurs discrets (voire un seul détecteur unitaire) associés à des chaînes d'acquisitions respectives, comme aux dispositifs comportant une entité formé d'un continuum de détecteurs élémentaires associé à un réseau de 30 chaînes d'acquisition, comme par exemple les imageurs de rayons X à architecture matricielle.

La figure 1 représente un schéma de principe de fonctionnement d'une chaîne d'acquisition d'un pixel selon l'état de la technique.

Pour chaque élément détecteur DET (ou 5 groupe de détecteurs élémentaires), les impulsions électriques Qdet issues du détecteur sont traitées (converties, amplifiées, filtrées, mises en forme etc.) par un circuit de traitement PPC, puis présentées à un comparateur CMP qui délivre une impulsion calibrée pour 10 chaque photon détecté. Ces impulsions incrémentent alors un compteur numérique BCC. A la fin de la période d'irradiation, le compteur BCC de chaque pixel contient donc le nombre de photons détectés par le pixel.

Comme schématisé sur la figure 2 qui 15 représente une architecture matricielle basée sur la chaîne d'acquisition de la figure 1, on procède ensuite à un transfert de données de comptage DTR vers un système de lecture RDS. La lecture des données peut s'effectuer ligne par ligne et colonne par colonne, par 20 adressage matriciel ou par bus logique, à destination d'un système de calcul de l'imageur.

Afin de pouvoir compter des charges de quelques milliers d'électrons par pixel, la chaîne d'acquisition assure en particulier les fonctions 25 suivantes :

- convertir des paquets de charges en tension,
- amplifier le signal,
- franchir un seuil,
- incrémenter un compteur, et,

- transférer les données numériques vers un système de lecture ou d'imagerie.

La figure 3 représente un schéma de réalisation électronique d'une chaîne d'acquisition 5 d'un pixel avec une partie analogique PPC et une partie logique BCC, selon l'état de la technique.

La partie analogique PPC a une structure à trois étages fonctionnels connue dans la littérature anglaise sous l'appellation de « Charge Sensitive 10 Amplifier/Shaper/Comparator » (structure à Amplificateur de Détection de Charges/Filtre de Mise en Forme/Comparateur).

Une telle structure conventionnelle est décrite par exemple dans l'ouvrage de Z.Y. Chang & 15 W.M.C Sansen intitulé "Low noise wide-band amplifiers in bipolar and CMOS technologies", édition Kluwer Academic Publishers, 1991, chapt 5.

Le premier étage CNVR correspond à un amplificateur CSA (pour « Charge Sensitive Amplifier ») 20 qui assure une fonction de conversion d'un paquet de charges Qdet issu du détecteur DET en une impulsion de tension Scsa d'amplitude maximale.

L'amplificateur CSA fonctionne avec un courant de polarisation Ipol1 et fournit un signal de 25 sortie Scsa. L'amplificateur CSA présente une capacité cf d'accumulation de charge disposée entre l'entrée IN et la sortie Scsa, qui assure la conversion de charges Qdet en tension Scsa.

Le montage CNVR de l'amplificateur CSA 30 comporte un dispositif de remise à zéro RAZ rebouclé en parallèle entre l'entrée IN et la sortie Scsa.

Le dispositif RAZ décharge la capacité de « contre-réaction ». Cf avec un courant continu de valeur maximale Irazi.

Le dispositif RAZ de décharge continue est 5 constitué par une résistance, par exemple.

Le deuxième étage SHPR (pour « shaper »), comporte un montage de filtre passe-bande à amplificateur AMP qui assure les fonctions suivantes :

- Gain d'amplification en tension :
10 l'amplificateur permet d'augmenter l'amplitude utile du signal de sortie Samp qui est présenté au comparateur CMP afin de faire émerger le signal utile du bruit et de s'affranchir des dispersions des comparateurs ;

- Filtrage en bruit du signal d'impulsion
15 de tension Scsa issu du premier amplificateur CSA : le filtrage supprime le bruit basse fréquence et limite la bande passante ; la coupure du filtre dans les basses fréquences supprime aussi les fluctuations de mode commun liées à des empilements d'évènements, comme 20 détaillé par la suite.

L'amplificateur AMP fonctionne avec un courant de polarisation Ipol2 et fournit en sortie Samp un signal d'impulsions mises en forme. Le montage SHPR comporte un premier condensateur C1 intercalé en série 25 sur l'entrée (-) de l'amplificateur AMP et un second condensateur C2 disposé sur une boucle de contre-réaction entre l'entrée (-) et la sortie Samp.

Selon l'état de la technique, un élément résistif R2 est disposé en parallèle au condensateur C2 30 sur la boucle de contre-réaction pour déterminer la fréquence de coupure du filtre SHPR.

Le gain en tension du montage SHPR est ajusté par le rapport des capacités -C1/C2.

Le troisième étage CMPR a pour fonction de comparer le potentiel du signal Samp par rapport à un seuil de tension Vth, et en cas de détection de franchissement du seuil, produire une impulsion de signal Scomp de comparaison, ici de niveau haut.

Un circuit LOGT de portes logiques remet en forme les impulsions de niveau de comparaison Scmp en impulsions calibrées d'état logique 0 ou 1 pour incrémenter correctement le compteur binaire CNT, de façon analogue à des impulsions carrées de signal d'horloge.

La principale difficulté dans les chaînes d'acquisition AQC est d'assurer la conversion charges/tension puis l'amplification de très faibles paquets de charges, tout en respectant de fortes contraintes de limitation de la consommation, en particulier dans les architectures matricielles, ainsi que des contraintes de rapport signal à bruit S/N suffisant afin de ne pas compter de faux événements.

Pour maximiser le taux de conversion charges/tension dans le montage CNVR, la valeur de la capacité Cf est réduite au minimum.

En pratique, la capacité Cf qui assure la conversion charge/tension est réduite à la valeur irréductible de la capacité parasite de l'amplificateur CSA (capacité présente entre l'entrée IN et la sortie Scsa) qui est liée à la technologie d'implantation du circuit électronique utilisé.

L'amplitude maximale théorique des impulsions du signal Scsa a la valeur limite suivante :

$$S_{CSA_{Max}} = \frac{Q_{det}}{C_f} = \frac{q \cdot N}{C_f}$$

Avec Qdet la valeur d'un paquet de charge en Coulombs, N le nombre d'électrons/trous produits par la détection d'un photon ou d'une particule ; q la charge élémentaire de l'électron : $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, Cf la valeur de la capacité IN/Scsa en Farad.

Les dispositifs existants ont l'inconvénient de souffrir de plusieurs limitations.

La première limitation est due à la nécessité d'effectuer un compromis entre trois paramètres de performance de la chaîne d'acquisition à savoir, la fréquence maximale de comptage, l'amplitude minimale des signaux d'impulsions, et la consommation globale des circuits électroniques d'acquisition.

Pour augmenter l'amplitude des impulsions, on peut chercher à augmenter le gain en tension Gv ($G_v = -C_1/C_2$) du deuxième étage SHPR d'amplification. Il faut alors augmenter le courant de polarisation Ipol2 de l'amplificateur AMP2 qui limite la vitesse de montée Ta du signal Samp ou augmenter la valeur de la capacité C1.

Mais, une augmentation du courant de polarisation Ipol2 de l'amplificateur AMP augmente fortement la consommation globale des chaînes d'acquisition. Or les dispositifs de détection, surtout à architecture matricielle, ont de fortes contraintes de limitation de courant consommé.

Augmenter la capacité C_1 reviendrait à augmenter l'impédance de charge en sortie de l'amplificateur CSA, ce qui réduit l'amplitude de réponse S_{CSA} du premier étage CNVR.

5 Il faut donc effectuer un compromis entre le gain en tension G_V du deuxième étage SHPR et l'amplitude de réponse S_{CSA} du premier étage CNVR, les 'gains' d'amplification des deux étages CNVR et SHPR devant être réglés conjointement pour atteindre un
10 optimum.

Dans les chaînes d'acquisitions optimisées selon l'état de la technique, lorsqu'un paquet de charges Q_{det} parvient du détecteur DET sur l'entrée IN de l'amplificateur CSA, le dispositif de décharge RAZ 15 du montage CNVR s'oppose à ce flux de charges Q_{det} et vient partiellement compenser les charges incidentes avant leur intégrale conversion en tension aux bornes de la capacité C_f . Ainsi, on s'aperçoit que l'amplitude maximale atteinte par le signal S_{CSA} de sortie de 20 l'étage convertisseur est inférieure au tiers de l'amplitude maximale théorique $S_{CSA_{Max}}$ (phénomène appelé « déficit balistique »).

Si l'on cherche à augmenter l'amplitude des impulsions de signal S_{CSA} , on peut diminuer la valeur 25 de la capacité C_f ou augmenter le courant de polarisation I_{POL1} de l'amplificateur CSA ou encore, diminuer la source de courant de décharge RAZ. La valeur de la capacité C_f ne peut pas être réduite en deçà de la valeur de la capacité parasite 30 d'entrée/sortie de l'amplificateur CSA.

Comme exposé précédemment, augmenter le courant de polarisation I_{pol1} de l'amplificateur CSA pour augmenter l'amplitude du signal S_{csa} correspondant à des paquets de charges donnés, reviendrait une fois 5 encore à augmenter fortement la consommation globale des chaînes d'acquisition du dispositif qui, par contrainte, est fortement limitée.

Par exemple, des courants supplémentaires I_{pol1} et I_{pol2} d'un microampère représentent, dans un 10 imageur matriciel de 1000 X 1000 pixels, un surcroît de consommation de courant global de 2 ampères. Une telle intensité ne peut pas être transportée sur des lignes 15 d'alimentation desservant 1000 pixels sans perte rédhibitoire de tension. (Contraintes de chutes d'alimentation à respecter).

L'effet d'une réduction de la valeur du courant de décharge I_{raz} généré par le dispositif RAZ est schématisé en traits discontinus sur la figure 4B.

Le schéma de la figure 4B permet de 20 comparer le fonctionnement d'une chaîne d'acquisition optimisée avec un courant nominal I_{raz1} (courbe en traits pleins) par rapport à un cas non optimisé avec un courant I_{raz2} de valeur plusieurs fois inférieure à I_{raz1} (courbe en tirets).

Dans ce cas, la réduction du courant I_{raz2} 25 limite l'incidence du courant de décharge RAZ pendant le transfert des charges Q_{det} dans la capacité C_f et permet d'atteindre une amplitude d'impulsion de tension S_{csa} proche de l'amplitude maximale théorique $S_{csa_{Max}}$.

Mais le temps de décharge T_d a l'inconvénient de durer considérablement plus longtemps puisque le courant de décharge I_{raz2} est réduit.

Par suite, comme indiqué par la figure 4B,
5 les impulsions de charges incidentes Q_{det} devront être moins fréquentes et la fréquence maximale de comptage sera considérablement limitée.

Inversement, si on cherche à augmenter la fréquence maximale de comptage, il faut augmenter le
10 courant de décharge I_{raz} . Mais par conséquent, comme illustré en traits pointillés sur la figure 4B, l'amplitude du signal S_{csa} est affaiblie. Le rapport signal à bruit est alors dégradé.

Par conséquent, on se heurte, pour une
15 consommation donnée (I_{pol1} , I_{pol2}) dans les dispositifs existants, à une limitation des performances provenant du nécessaire compromis entre la fréquence maximale de comptage et l'amplitude des signaux d'impulsions.

Les dispositifs de l'état de la technique
20 ont l'inconvénient de présenter une autre limitation due à un problème d'accumulation d'impulsions et de saturation analogue à un phénomène « d'éblouissement » après chaque évènement de détection.

Comme schématisé sur la figure 4C, lorsque
25 la chaîne d'acquisition reçoit une salve de paquets de charges Q_{det}' , Q_{det}'' , Q_{det}''' , à une cadence supérieure à la fréquence de comptage maximale nominale N_{max} , la capacité C_f n'a pas le temps nécessaire à une décharge RAZ complète, et le niveau moyen des signaux
30 S_{csa} , S_{amp} augmente graduellement sans parvenir à redescendre au niveau de repos 0.

Il y a donc un décalage du niveau moyen de tension du signal Sca qui se répercute sur le signal de sortie Samp du deuxième étage SHPR.

5 Ce problème est connu dans l'état de la technique sous l'appellation de « décalage de ligne de base ».

Le décalage du potentiel moyen du signal Samp appliquée en entrée du comparateur CMP provoque une saturation à niveau constant en sortie Scmp de la 10 chaîne d'acquisition AQC.

Au-delà d'une cadence d'évènements de détection Nsat encore supérieure à N_{max} , la chaîne d'acquisition ne distingue plus les impulsions de détection les unes des autres, les signaux Scsa, Samp, 15 Scmp restent complètement saturés et le compteur CNT n'enregistre pas d'impulsion sauf uniquement le premier front de la première impulsion, aboutissant à un résultat aberrant de comptage égal à un.

La figure 5 illustre l'allure 20 correspondante de la courbe de réponse des dispositifs de mesure de rayonnements selon l'état de la technique.

Trois zones distinctes apparaissent sur ce type de courbe :

- une zone linéaire [0 ; Nlin] : zone de 25 fonctionnement nominal délivrant une réponse linéaire ;

- une zone non-linéaire [Nlin ; Nmax] : zone de fonctionnement mais dans laquelle la réponse n'est plus linéaire ;

- une zone décroissante au-delà de Nmax : 30 zone « interdite » car les réponses sont inexploitables. A un résultat de comptage $N_{cnt}=N_{amb}$

peuvent correspondre, de manière ambiguë, deux nombres d'événements de détection $N_{det}=N_{amb1}$ ou $N_{det}=N_{amb2}$. En outre à partir d'un nombre limite d'événements N_{sat} , le dispositif compte le premier événement et reste saturé 5 (toutes les impulsions s'empilent les unes sur les autres), ce qui se traduit par le comptage d'un seul événement.

L'objet de l'invention est de réaliser un dispositif de mesure de rayonnements sans les 10 inconvénients précités.

Le premier objectif de l'invention est de faire disparaître le problème de saturation de la chaîne d'acquisition et le phénomène « d'éblouissement » ou « d'empilement d'événements » du 15 dispositif de détection.

Le deuxième problème de l'invention est de s'affranchir du compromis entre les paramètres de performance du dispositif que sont la fréquence maximale de comptage, l'amplitude des signaux 20 d'impulsions et la consommation globale de l'entité électronique du dispositif.

Un objectif particulier est d'augmenter la limite de fréquence de comptage maximum d'un dispositif de mesure de rayonnement.

25 Un autre objectif particulier est d'augmenter l'amplitude des signaux d'impulsions dans une chaîne d'acquisition et d'améliorer le rapport signal à bruit dans un dispositif de détection selon l'invention, notamment dans un dispositif d'imagerie.

30 Un autre objectif particulier est de réduire la consommation globale d'un dispositif de

mesure rayonnement, notamment dans les dispositifs matriciels.

Enfin, un autre objectif de l'invention est de réaliser une chaîne d'acquisition de système de détection matricielle ayant un faible encombrement sous 5 pixel, présentant de faibles sources de bruit, une faible consommation, une conception aisément transposable indépendamment de la technologie d'implantation avec, de préférence, une bonne 10 fiabilité.

EXPOSE SOMMAIRE DE L'INVENTION

Succinctement, l'invention consiste à privilégier le gain de conversion charges/tension du montage à amplificateur CSA de l'étage CNVR en 15 minimisant l'incidence négative du courant de décharge Iraz sur l'amplitude du signal Scsa d'impulsions de détection obtenu en sortie de l'amplificateur CSA.

A cette fin, le courant Iraz est fortement réduit à une valeur Irazmin non conventionnelle compte- 20 tenu des contraintes de fréquence de comptage. Ceci permet de tirer le meilleur parti des charges Qdet incidentes disponibles et par suite de commuter le plus rapidement possible le comparateur CMP. Une fois 25 l'impulsion détectée, on utilise le signal d'impulsions Scmp/Slog généré pour venir interrompre le processus de conversion de charge et le lent processus de retour à l'équilibre, ralenti à cause du courant réduit Irazmin. Une telle interruption est avantageusement assurée par 30 une boucle d'asservissement commandée par le signal Slog qui agit sur l'étage convertisseur de charge CNVR par l'intermédiaire d'un interrupteur électronique

disposé en parallèle au dispositif de décharge continue RAZ.

L'invention prévoit notamment de réaliser un dispositif de mesure d'exposition à des rayonnements 5 comprenant au moins un élément de détection de photons ou de particules associé à au moins un circuit d'acquisition et de comptage des événements de détection, dans lequel la courbe de réponse du nombre d'événements comptés en fonction du nombre de photons 10 ou de particules captés par chaque élément de détection, est monotone croissante.

Plus précisément, la courbe de réponse présente une première plage de réponse croissante de façon sensiblement linéaire, le nombre d'événements 15 comptés augmentant proportionnellement au nombre de photons ou de particules captés, suivie d'une seconde plage de réponse simplement croissante, le nombre d'événements comptés continuant à augmenter ou restant stable tant qu'augmente le nombre de photons ou de 20 particules captés.

L'invention prévoit que le circuit d'acquisition comprend un circuit de traitement de signaux délivrant des impulsions de comptage correspondant aux événements de détection, le 25 dispositif comprenant des moyens pour réinitialiser rapidement le circuit de traitement de signaux d'impulsions.

L'invention concerne également un dispositif de détection ou de mesure d'exposition à des 30 rayonnements comprenant au moins un élément de détection de photons ou de particules, chaque élément

de détection étant associé à une chaîne d'acquisition et de comptage des événements de détection, la chaîne d'acquisition comprenant un circuit de traitement de signaux délivrant des impulsions de comptage correspondant aux événements de détection, le dispositif comprenant une boucle d'asservissement ou de rétroaction commandant des moyens pour réinitialiser le circuit de traitement de signaux. Avantageusement, la réinitialisation est effectuée de manière discontinue en réponse à chaque impulsion/événement de détection, immédiatement après la phase de conversion de charges issues du détecteur en impulsion.

L'invention peut être réalisée en disposant :

- des moyens pour déclencher un courant de réinitialisation dans un étage d'accumulation de charge du circuit d'acquisition ; ou,

- des moyens pour déclencher rapidement, après chaque événement de détection, le retour à un point d'équilibre de polarisation d'un étage d'amplification polarisé du circuit d'acquisition ; ou,

- des moyens pour décharger des moyens capacitifs d'un étage d'accumulation de charge, en réponse à chaque événement détecté, avec, de préférence, des moyens pour abréger la décharge des moyens capacitifs.

Selon un mode de réalisation de l'invention le dispositif comprend des moyens pour générer deux valeurs de courant de décharge dans un étage de conversion de charge ou des moyens pour commuter la

valeur du courant de décharge dans un étage amplificateur d'accumulation de charge.

Ainsi, le courant de décharge de l'étage d'accumulation de charge prend une première valeur 5 durant les temps de repos et une seconde valeur lors de la détection d'un événement, la seconde valeur étant supérieure à la première valeur.

Avantageusement, la valeur du courant de décharge de l'étage d'accumulation de charges durant 10 les temps de repos est réglée à une valeur de l'ordre du courant parasite, de fuite ou d'obscurité de l'élément détecteur.

Selon un autre mode de réalisation, l'étage de conversion de charge comporte une source de courant 15 de décharge constante et une source de courant de décharge déclenchée ou commutée.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif comprend des moyens de commutation aptes à court-circuiter des moyens capacitifs d'un étage 20 amplificateur de conversion de charge.

Selon un autre aspect de l'invention, le circuit d'acquisition et de comptage comprend une boucle d'asservissement ou de rétroaction entre un point en aval d'un étage d'accumulation de charge et 25 ledit étage. Avantageusement, la boucle de commande d'asservissement retransmet des signaux d'impulsions de comptage et commande des moyens de commutation reliés à des bornes de l'étage d'accumulation de charge.

Alternativement, la boucle d'asservissement 30 commande une source de courant de décharge.

De façon avantageuse, l'invention permet d'augmenter l'amplitude de montée ainsi que sa rapidité à atteindre un niveau donné d'un signal d'impulsions émis lors de chaque événement de détection 5 tout en réduisant le temps de descente dudit signal.

L'invention prévoit encore un procédé d'acquisition et de comptage d'événements de détection mettant en œuvre un dispositif de mesure d'exposition à des rayonnements comprenant au moins un élément de 10 détection associé à au moins un circuit d'acquisition et de comptage des événements de détection, le circuit d'acquisition comprenant un circuit de traitement de signaux délivrant des impulsions de comptage correspondant aux événements de détection, le procédé 15 comportant une étape consistant à réinitialiser de manière discontinue le circuit de traitement de signaux, en réponse à chaque impulsion/événement de détection. Avantageusement la réinitialisation est effectuée rapidement, immédiatement après la phase de 20 conversion de charges issues du détecteur en impulsion.

De préférence, le procédé met en œuvre une étape consistant à effectuer un asservissement retransmettant les signaux d'impulsions de comptage pour commander la réinitialisation. Avantageusement, 25 l'asservissement est rebouclé entre un point en aval d'un étage d'accumulation/conversion de charge et ledit étage. Selon un mode de réalisation, le procédé comporte une première étape de décharge continue d'une capacité de conversion de charge, le procédé de 30 réinitialisation consistant à abréger la première étape

par l'autre étape de réinitialisation effectuée après chaque incrémentation des moyens de comptage.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres objectifs, caractéristiques et 5 avantages de l'invention apparaîtront à la lectuer de la description de modes de réalisation ci-après, en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente un schéma de principe d'une chaîne d'acquisition de détecteur de 10 type connu ;

- la figure 2 représente une architecture matricielle de dispositif de détection de type connu ;

- la figure 3 représente un schéma électronique de réalisation d'une chaîne d'acquisition 15 de détecteur selon l'état de la technique ;

- les figures 4A à 4D représentent des diagrammes de signaux d'impulsions dans une chaîne d'acquisition selon l'état de la technique ;

- la figure 5 représente une courbe de 20 réponse de dispositif de détection de rayonnements selon l'état de la technique ;

- la figure 6 représente une courbe de réponse de dispositif de mesure d'exposition à des rayonnements selon l'invention ;

- la figure 7 représente un schéma de 25 réalisation électronique de circuit d'acquisition et de comptage selon l'invention ;

- les figures 8A-8D représentent schématiquement des diagrammes de signaux d'impulsions

obtenus dans le circuit d'acquisition selon l'invention ;

- les figures 9A-9F représentent des diagrammes de résultats de mesure de signaux 5 d'impulsions obtenus dans une chaîne d'acquisition selon l'invention ;

- la figure 10 représente le schéma d'un dispositif de réinitialisation ; et

- la figure 11 représente un autre mode de 10 réalisation de l'invention.

EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

La figure 7 représente un schéma de réalisation de chaîne d'acquisition d'un élément détecteur DET ou pixel d'un dispositif de détection de 15 rayonnement selon l'invention.

L'entité de détection (non représentée) peut être un détecteur unitaire, un groupe d'éléments détecteurs discrets ou une ou plusieurs couches de matériau détecteur formant un continuum de détecteurs 20 élémentaires correspondant à un réseau de pixels.

La chaîne d'acquisition comporte une partie analogique PPC formant un circuit de traitement et de mise en forme des impulsions issues du détecteur DET, suivie d'une partie logique BCC formant un circuit de 25 comptage binaire.

La partie analogique PPC est composée d'un étage CNVR de conversion de charge à amplificateur CSA en montage intégrateur, suivi d'un étage SHPR de mise en forme d'impulsions à amplificateur AMP en montage de 30 filtre passe bande, et d'un troisième étage CMPR de

détection de franchissement de seuil à amplificateur CMP en montage comparateur.

La partie logique BCC comporte un circuit de comptage numérique CNT à registre REG ayant pour fonction de s'incrémenter à chaque évènement détecté et de conserver en mémoire le résultat de comptage Ncnt du nombre d'évènement détecté en vue d'un transfert de données vers un système de lecture ou un système d'imagerie à la fin de la période d'irradiation.

Le premier étage CNVR de conversion est formé par un montage d'amplificateur détecteur de charge effectuant une conversion de charges électronique Qdet en niveau de tension Scsa.

L'amplificateur CSA est configuré en montage intégrateur ou en montage de filtre passe-bas avec une boucle de circuit IOL reliant la sortie Scsa de l'amplificateur CSA sur une entrée IN de l'amplificateur CSA.

Selon le mode de réalisation de la figure 7, le circuit IOL comporte une capacité Cf, un élément de réinitialisation RAZ et un élément de commutation SWT reliés en parallèle entre la sortie Scsa et l'entrée IN de l'amplificateur CSA.

L'invention vise à privilégier le gain de conversion charges/tension du montage à amplificateur CSA de l'étage CNVR en minimisant l'incidence négative du courant de décharge Iraz sur l'amplitude du signal Scsa d'impulsions de détection obtenu en sortie de l'amplificateur CSA.

Dès que l'impulsion de charge est détectée, le signal d'impulsion généré est utilisé pour venir interrompre le processus de conversion CNVR.

La gestion de l'interruption est assurée 5 par une boucle d'asservissement commandée par le signal Slog qui agit sur l'étage convertisseur de charge CNVR par l'intermédiaire de l'interrupteur électronique SWT disposé en parallèle au dispositif de décharge continue RAZ.

10 Selon l'invention, la chaîne d'acquisition comporte donc une boucle de d'asservissement, ou autrement dit une boucle de rétroaction ou de contre-réaction, connectée entre un point en aval de la sortie de l'étage de conversion CNVR et le montage 15 amplificateur de conversion de charge CSA de cet étage CNVR.

Selon le mode de réalisation illustré figure 7, l'asservissement FDBK de la chaîne d'acquisition effectue un rebouclage depuis la partie 20 de comptage numérique BCC vers le premier étage CNVR de la partie analogique de la chaîne.

Suivant ce mode de réalisation, la boucle d'asservissement FDBK commande l'élément de commutation SWT.

25 Dans le mode de réalisation de la figure 7, la boucle de rétroaction provient de la partie numérique BCC de la chaîne d'acquisition en aval de l'étage CNVR contenant le commutateur SWT, ce qui permet avantageusement d'appliquer des signaux logiques 30 pour la commande de l'élément de commutation SWT.

Plus précisément, selon l'exemple de la figure 7, la boucle de contre-réaction relie la sortie Slog du signal d'impulsion de niveau logique issu de la porte inverseuse LOGT interposée entre la sortie Scmp 5 du comparateur CMP et la borne d'incrémentation du compteur CNT. En fonctionnement, le signal d'impulsions calibrées SLOG qui incrémente le compteur binaire CNT-REG est donc retransmis par la boucle d'asservissement FDBK sur l'étage CNVR de conversion de charges.
10

Dans la réalisation de la figure 7, le montage de l'étage de conversion CNVR comporte donc une capacité Cf, un élément de réinitialisation RAZ et un élément de commutation SWT reliés en parallèle entre la 15 sortie Scsa et l'entrée IN de l'amplificateur CSA.

Pour obtenir un taux d'intégration maximum, la valeur de la capacité de contre-réaction Cf est réduite au minimum.

Dans certaines formes de réalisation 20 pratique, le montage amplificateur ne comporte pas de condensateur connecté entre l'entrée IN et la sortie Scsa de l'amplificateur car la capacité Cf de contre-réaction Scsa/IN est réduite (arasée) à la capacité parasite irréductible qui existe entre l'entrée et la 25 sortie du composant amplificateur. Dans ce cas, on ne trouve pas réellement de composant spécifique de condensateur dans le montage amplificateur de l'étage de conversion de charge.

Le système de réinitialisation RAZ décharge 30 la capacité Cf suivant une valeur de courant maximum Iraz. Le système de réinitialisation RAZ peut être

formé par exemple par une source de courant de valeur Iraz ou par un élément résistif ayant une valeur de résistance R correspondant à la valeur du courant maximum Iraz lorsque la tension aux bornes de la 5 capacité cf atteint une valeur de tension crête.

Selon une forme de réalisation, une source de courant de valeur Iraz, est formée par un montage à transistor polarisé de sorte que son courant de saturation correspond à la valeur de courant maximum 10 Iraz.

Selon le premier mode de réalisation de l'invention, la boucle de circuit IOL comprend un élément de commutation SWT. Le dispositif SWT peut être formé d'un commutateur reliant directement les bornes 15 d'entrées IN et de sortie Scsa de l'amplificateur, de façon à réaliser un court circuit lorsque le contact du commutateur SWT est fermé, et un circuit ouvert lorsque le commutateur SWT est ouvert.

Dans le premier mode de réalisation, le 20 commutateur SWT est relié en parallèle aux bornes IN/Scsa du circuit IOL, donc de la capacité Cf et de la source de courant Iraz.

L'élément de commutation SWT est commandé 25 par la boucle d'asservissement FDBK, provenant de la partie numérique BCC de la chaîne d'acquisition.

Les figures 8A-8D schématisent l'allure des principaux signaux d'impulsions Qdet, Scsa, Samp, Scmp et /Slog aux divers stades de la chaîne d'acquisition PPC-BCC au cours d'une phase typique de fonctionnement 30 du dispositif selon l'invention.

Initialement, au repos, comme illustré sur le diagramme 8D, le signal Scmp a un niveau bas 0, et le signal Slog est aussi dans un état logique bas (inactif). L'état inactif du signal Slog transmis par la boucle de contre-réaction FDBK maintient le commutateur SWT ouvert, par convention dans l'exemple de réalisation de la figure 7.

Un évènement de capture d'un photon ou d'une particule par l'élément détecteur, DET, provoque la génération d'un paquet de charge Qdet qui fait apparaître une brève impulsion de courant et/ou de tension à l'entrée IN de l'étage initial de conversion CNVR.

La capacité Cf du montage intégrateur de l'amplificateur CSA collecte, accumule et stocke la charge électronique Qdet issue du détecteur DET. Par conséquent, la tension du signal de sortie Scsa monte brusquement pour atteindre un pic de tension ayant une valeur crête Scsa_{MAX} ($Scsa_{MAX} \geq Qdet/Cf$).

Le temps de montée Tr du signal de sortie Scsa dépend de la vitesse de montée de l'amplificateur, qui est liée aux conditions de polarisation, en particulier au courant de polarisation Ipol1 de l'amplificateur CSA.

Le signal Samp du deuxième étage SHPR reproduit l'impulsion du signal Scsa en modifiant son amplitude (et sa forme). Lorsque le niveau du signal Samp franchit le niveau de seuil Vth schématisé sur le diagramme 8C, le comparateur CMP délivre une impulsion Scmp de niveau haut, ce qui correspond à un passage du signal logique Slog à l'état haut (actif).

Le changement d'état du signal logique Slog provoque l'incrémentation du compteur binaire CNT d'une unité.

Parallèlement, la boucle d'asservissement 5 FDBK selon l'invention, transmet alors une commande de fermeture (Slog actif) au dispositif de commutation SWT.

La fermeture de commutateur SNT provoque un court-circuit aux bornes de la capacité Cf et une 10 décharge quasi-immédiate de la capacité Cf.

Par conséquent, comme illustré sur le diagramme 8B, le niveau de sortie Scsa de l'étage convertisseur de charge CNVR redescend dans un intervalle de temps T1 très bref, grâce à l'invention. 15 Dès que le niveau de sortie Samp repasse en dessous du niveau de seuil Vth, le comparateur relâche le niveau haut de l'impulsion de sortie Scmp.

Dès lors, de façon avantageuse selon 20 l'invention, la chaîne d'acquisition est de nouveau prête pour traiter une nouvelle impulsion Qdet issue du détecteur DET.

Tous les signaux Scsa, Samp, Scmp et Slog sont alors revenus à leur niveau de repos, 0 ici, et le commutateur SWT est réouvert par l'état inactif du 25 signal Slog. Le montage CNVR à amplificateur CSA polarisé retrouve son niveau de polarisation du détecteur DET en entrée IN.

De façon avantageuse, l'invention fait disparaître le temps d'éblouissement dans les systèmes 30 de détection de rayonnements et d'acquisition d'événements.

En effet, si le détecteur de rayonnement génère une impulsion de charge Qdet, immédiatement après l'impulsion de comptage Scmp/Slog, la chaîne d'acquisition CNVR/SHPR/CMPR/BCC est dès lors prête pour traiter l'impulsion et enregistrer l'évènement.

Par conséquent, comme il apparaît en comparant les schémas des figures 4A-4D et 8A-8D, la chaîne d'acquisition selon l'invention peut travailler à une fréquence (ou cadence) de comptage d'évènements beaucoup plus élevée.

Dans le cas exceptionnel où un second évènement débuterait avant la fin du traitement d'un premier évènement, la chaîne d'acquisition selon l'invention est entièrement réinitialisée à la fin du traitement du premier évènement, sans prendre en compte le nouvel évènement. La chaîne est prête à traiter un futur troisième évènement et à enregistrer l'impulsion correspondante, malgré le second évènement intercalaire.

Ainsi, grâce à l'invention, il n'y a pas de décalage du potentiel moyen de sortie Scsa, Samp des étages d'amplification CNVR et SHPR.

De façon avantageuse, l'invention permet donc de supprimer le phénomène connu sous l'appellation de « décalage de ligne de base ».

Autrement dit, il n'y a pas de saturation de la chaîne d'acquisition selon l'invention.

Ainsi, de façon avantageuse, le dispositif selon l'invention empêche toute saturation de la chaîne d'acquisition par accumulation d'impulsions et inhibe les effets d'un empilement d'évènements.

En conséquence, la réponse du dispositif selon l'invention ne présente plus de phénomène de saturation, ni même de décroissance des résultats de comptage.

5 La figure 6 représente la courbe de la fonction de transfert d'un dispositif selon l'invention, la courbe donnant le nombre d'événements comptabilisés en fonction du nombre de photons ou de particules captées par l'entité de détection.

10 La courbe de réponse du dispositif selon l'invention présente une fonction de transfert monotone croissante, le nombre d'évènements comptés augmentant continûment en fonction du nombre d'impulsions de détection de photons ou de particules captées par le 15 dispositif.

La courbe de réponse de la fonction de transfert du dispositif selon l'invention tend à être strictement croissante entre deux asymptotes α et β .

20 L'asymptote α correspond à un axe passant par l'origine O suivant laquelle le nombre d'évènements comptés N_{cnt} est proportionnel au nombre N_{det} de particules ou de photons captés par le détecteur, ces deux nombres étant sensiblement égaux dans la zone linéaire ($N_{cnt} = N_{lin} = N_{det}$).

25 En augmentant, le nombre d'évènements comptés N_{cnt} tend vers un nombre limite supérieur N_{lmt} représenté par l'asymptote β , lorsque le nombre N_{det} de photons ou de particules captées par le détecteur augmente et tend vers l'infini.

30 Le nombre limite supérieur N_{lmt} est donné par la formule suivante :

$$Nlmt = Ti/\tau$$

avec

Ti, la période de comptage des événements ou la durée d'échantillonnage des images captés ;

5 τ est la durée de gestion d'un événement par la chaîne d'acquisition.

Ainsi, la courbe de réponse du dispositif présente seulement deux zones distinctes qui 10 apparaissent sur l'allure type de la courbe de la figure 6 :

- une zone de réponse linéaire α [0 ; Nlin] (nombre Ndet de particules captées correspondant environ au nombre Ncnt d'événements comptés jusqu'à une 15 borne de linéarité Nlin) : zone dans laquelle la réponse est sensiblement linéaire (proportionnelle) ; c'est la zone de fonctionnement nominal du dispositif.

- une zone de réponse β [Nlin ; Nlmt] : zone au delà de la borne de linéarité Nlin, dans 20 laquelle la fonction de transfert reste monotone croissante ; c'est une zone de fonctionnement dans laquelle la réponse est exploitable (après application d'un facteur de correction systématique, par exemple, ou par référence à une abaque d'étalonnage), bien que 25 la fonction de transfert ne soit plus linéaire.

Il ressort, par comparaison des figures 5 et 6, que la réponse du dispositif selon l'invention ne comporte pas de zone décroissante au-delà de la zone non-linéaire croissante β .

30 La courbe de réponse d'un dispositif selon l'invention tend vers une limite Nlmt, en termes

d'événements comptés Ncnt, qui est supérieure à toutes les valeurs que le dispositif peut compter : sur la figure 6, Nlmt est supérieure à toute valeur comptée par le dispositif.

5 De façon avantageuse, selon l'invention, chaque valeur de nombre d'événements compté par la chaîne d'acquisition correspond à une et une seule valeur de nombre de particules/photons captés par le détecteur. Il n'apparaît plus de valeur de résultat de 10 comptage Ncnt correspondant de manière ambiguë à deux valeurs de nombre de photons/particules captées par le détecteur. Par conséquent, il n'y a plus de résultat aberrant.

Au dessus d'un certain nombre de photons 15 (Nsat, figure 6) le dispositif atteint la plage de saturation de valeur Nlmt non exploitable mais par ailleurs non perturbatrice pour la plage linéaire contrairement à l'art antérieur.

L'invention permet d'optimiser aussi, de 20 manière indépendante, le front montant Tr et le front descendant Tl du signal de sortie Samp de l'étage de conversion CNVR, comme suit :

- le front montant Tr du signal Samp est déterminé par le courant de polarisation Ipol1 de 25 l'amplificateur CSA et par le courant de décharge Iraz de la capacité Cf (et aussi par le courant Ipol2 de l'amplificateur et par sa fonction de transfert). En fixant le courant de décharge Iraz à une valeur limitée par rapports aux valeurs conventionnelles dans les 30 dispositifs connus, la quantité de charges Qdet effectivement convertie est maximisée, ce qui accroît

la vitesse de montée du front Tr et donc la valeur maximale de crête du signal Scsa ;

- le front descendant Tl ne dépend plus selon l'invention du courant Iraz. Le temps de descente 5 Tl est considérablement abrégé par l'établissement du court-circuit SNT selon l'invention.

De façon avantageuse, l'invention, permet de s'affranchir dans une certaine mesure du compromis fréquence maximale de comptage/amplitude des 10 impulsions.

De plus, pouvoir réduire les courants de polarisation Ipol1 et Ipol2 de la chaîne d'acquisition permet d'abaisser la consommation globale de l'ensemble du dispositif à architecture matricielle.

15 En outre, selon des variantes de réalisation de l'invention exposées ci-après, il est encore possible de réduire au plus bref l'intervalle de temps Tl de retour au point d'équilibre en amortissant les phénomènes d'oscillations dus à la décharge 20 capacitive Cf dans un circuit d'interrupteur SWT sans résistance.

L'invention permet par conséquent, de minimiser l'incidence négative du courant de décharge Iraz sur l'amplitude du signal Scsa obtenue en sortie 25 de l'amplificateur CSA de façon à privilégier le gain de conversion charges/tension. A cette fin, il est prévu de réduire fortement le courant Iraz à une valeur IRAZMIN non conventionnelle, compte tenu des contraintes de fréquence de comptage. Ceci permet de 30 tirer le meilleur parti des charges incidentes Qdet disponibles et par suite de commuter le plus rapidement

possible le comparateur CMP. Une fois l'impulsion détectée, le signal Slog (ou Scmp) est utilisé pour venir interrompre le lent processus de retour à l'équilibre, ralenti à cause de la valeur réduite du courant IRAZMIN.

En effet, pour gagner en amplitude disponible en sortie CSA, la source de courant RAZ est réglé à une valeur IRAZMIN très faible.

La valeur IRAZMIN peut être optimisée en la minimisant à une valeur légèrement supérieure au courant parasite continu maximum des détecteurs (courant de fuite qui correspond généralement au courant d'obscurité ou de traînage du détecteur).

Une valeur IRAZMIN légèrement supérieure au courant parasite continu maximum des détecteurs permet de s'affranchir d'un comptage de faux évènement.

L'invention permet ainsi de régler le dispositif de décharge continue RAZ de manière non conventionnelle. En effet, pour gagner en amplitude disponible sur le signal de sortie Scsa, le courant Iraz est réglé à une valeur Irazmin très faible. Ceci permet de réduire l'incidence de Iraz pendant le transfert de charges Qdet du détecteur DET dans la capacité Cf et donc d'augmenter l'amplitude du signal Scsa pour des paquets de charges Qdet donnés.

Autre conséquence avantageuse de l'invention, tant que le signal Scsa (ou son image Samp) n'atteint pas la valeur de seuil Vth du comparateur, celui-ci ne génère pas d'impulsion Scmp (donc Slog inactif) entraînant un rendement maximum de

conversion des paquets de charges Qdet issus du détecteur.

Cette amélioration du rendement permet de relâcher les exigences de gain sur les étages suivants 5 ce qui permet indirectement de réduire leur courant de polarisation donc au final d'abaisser la consommation du dispositif de détection, ce qui est avantageux notamment pour un imageur matriciel.

Les figures 9A-9F illustrent, aux fins de 10 comparaison, des chronogrammes d'amplitude de signaux, respectivement Qdet, In, Scsa, Samp, Slog, Scmp, mesurés sur les étages correspondants de trois chaînes d'acquisition ayant des configurations différentes, comme suit :

15 - les premières courbes de résultats de mesures en traits grisés (indice 1) correspondent aux signaux d'une chaîne d'acquisition selon l'état de la technique avec un courant de décharge constant de valeur Iraz1 conventionnelle ;

20 - les courbes de résultats en traits noirs (indice 2) correspondent aux signaux d'une chaîne d'acquisition selon l'état de la technique avec un courant de décharge constant réduit à une faible valeur Iraz2, par exemple dix fois inférieure à la valeur Iraz1 conventionnelle ; et,

25 - les courbes de résultats en traits clairs (indice 3) correspondent aux signaux d'une chaîne d'acquisition avec un double système RAZ/SWT de décharge et de réinitialisation commutée selon 30 l'invention, dans lequel le courant de décharge constant Iraz est réduit à une faible valeur Irazmin,

par exemple dix fois inférieure à la valeur Iraz1 conventionnelle.

La comparaison des courbes en traits grisés (indice 1) et en traits noirs (indice 2) montre 5 l'intérêt de réduire le courant Iraz pour maximiser la quantité instantanée de charges convertie en tension.

La comparaison des courbes en traits noirs (indice 2) et en traits clairs (indice 3) fait apparaître l'incidence de l'interrupteur SWT piloté par 10 l'asservissement FDBK pour raccourcir le temps de réinitialisation de la chaîne d'acquisition.

La comparaison de ces résultats de mesure d'une chaîne d'acquisition optimisée selon l'état de la technique (indice 1) et d'une chaîne non optimisée 15 selon l'état de la technique (indice 2) avec les résultats de mesure d'une chaîne d'acquisition selon l'invention (indice 3) qui comporte une source de courant réduite Irazmin adjointe à un circuit de réinitialisation discontinue, fait ressortir les 20 avantages de la solution proposée selon l'invention.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention illustré figure 10, le dispositif de réinitialisation comporte deux sources de courant, une source de courant constant Irazmin de décharge relié en 25 parallèle avec une source de courant additionnelle Irazadd commutée. Ce dispositif de double réinitialisation à deux sources de courant est relié aux bornes Scsa et In entre lesquelles se trouve la capacité Cf.

30 La commutation de la source de courant additionnelle Irazadd est commandée par le signal Slog

transmis par la boucle d'asservissement FDBK, comme décrit précédemment.

Le fonctionnement et la commande des sources de courant dans ce mode de réinitialisation 5 s'opèrent de la façon suivante :

- Pendant la phase de conversion de charges en tension (front montant Tr et pic de tension Scsa) qui suit l'apparition du paquet de charges Qdet, l'absence de commande Slog (Scmp bas, Slog haut) 10 maintient le commutateur SWT ouvert et met hors circuit la source de courant additionnelle Irazadd, de sorte que le courant de décharge Iraz de la capacité Cf a pour valeur :

$$Iraz = Irazmin$$

15

- Pendant la phase de réinitialisation (retour au point d'équilibre) correspondant au front de descente Tl qui suit le franchissement du seuil Vth par le signal Samp, l'impulsion de commande Slog (Scmp haut, Slog bas) ferme le commutateur SWT et met en circuit la source de courant additionnelle Irazadd avec la capacité Cf, de sorte que son courant de réinitialisation Iraz vaut :

25

$$Iraz = Irazadd + Irazmin$$

- Pendant le reste du cycle (repos au point d'équilibre Scsa=0) qui suit le retour du signal Samp en dessous du niveau du seuil Vth (Scmp bas, Slog haut), le commutateur SWT reste ouvert et le courant de

décharge Iraz de la capacité Cf se maintient à une valeur :

$$Iraz = Irazmin$$

5 La disposition de deux sources de courants de valeur contrôlée, Irazmin constante et Irazadd commutée, offre l'avantage d'empêcher l'apparition d'un phénomène d'oscillations critiques qui se produirait avec un courant de décharge Iraz quasi infini et aurait 10 des répercussions sur les potentiels IN et Scsa de l'amplificateur et sur la polarisation du détecteur.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le double système de réinitialisation discontinue/décharge constante selon l'invention, peut 15 être réalisé sous forme d'un dispositif de source de courant variable commandé par la boucle d'asservissement FDBK pour générer plusieurs valeurs de courant de réinitialisation/décharge I1 et I2 (avec I2 > I1).

20 La première valeur inférieure de courant I1 peut notamment être minimisée à une valeur de courant Irazmin à peine supérieure au courant de bruit ou d'obscurité du détecteur. La seconde valeur supérieure de courant I2 peut être une valeur de courant optimale 25 correspondant à un temps de descente T1 minimum.

Dans la description des modes de réalisation qui précède, la boucle d'asservissement FDBK est rebouclée sur le montage d'amplificateur convertisseur de charge CSA du premier étage CNVR de la 30 chaîne d'acquisition.

Selon un autre mode de réalisation, illustré figure 11, l'asservissement FDBK2 peut être rebouclé sur le montage de filtre à amplificateur AMP du second étage SHPR de mise en forme d'impulsions de 5 la chaîne d'acquisition.

Selon ce mode de réalisation, l'élément résistif R en parallèle sur le condensateur C2 qui assure le positionnement du pôle du filtre SHPR dans l'état de la technique antérieure peut être remplacé 10 par un dispositif de double réinitialisation RAZ2/SWT2 selon l'invention.

Une source de courant de décharge RAZ2 et un commutateur SWT2 peuvent ainsi être relié en parallèle avec la capacité C2 entre les bornes 15 d'entrée (-) et de sortie Samp de l'amplificateur AMP du second étage SHPR. Le commutateur SWT2 est alors conformément à l'invention commandé par la boucle d'asservissement FDBK2.

La source de courant RAZ2 peut par exemple 20 être réalisée par un transistor polarisé pour délivrer un courant maximum Iraz2. Dans ce cas, la valeur de résistance dynamique du transistor joue avantageusement le rôle de la résistance R2 de coupure du filtre et/ou le rôle de la résistance R de limitation du courant de 25 réinitialisation.

Conformément aux alternatives présentées précédemment, le dispositif de double réinitialisation monté sur le second étage SHPR selon l'invention peut aussi être formé de deux sources de courant 30 Irazmin/Irazadd (constant et commuté) ou d'une source

de courant variable I_1/I_2 en suivant le synoptique des modes de réalisations précédents.

Plus généralement, l'invention s'applique à une chaîne d'acquisition comportant une structure différente d'étages amplificateurs, par exemple à un ou deux étages ou à plus de trois étages d'amplification et à des étages ayant des fonctions distinctes de celles exposées ici.

Selon encore un autre mode de réalisation, la boucle d'asservissement peut être reliée en sortie du comparateur CMP et transmettre vers l'un des étages précédents le signal d'impulsions Scmp comme signal de commande de commutation du dispositif de double réinitialisation selon l'invention.

De façon générale, la boucle d'asservissement qui commande le dispositif de double réinitialisation selon l'invention peut être rebouclé entre un point en aval du dispositif de double réinitialisation et l'étage amplificateur dans lequel se trouve le dispositif.

AVANTAGES APPORTES PAR L'INVENTION

De façon générale, l'invention permet de décorrérer le processus de conversion des charges incidentes en tension et le processus de réinitialisation rapide des niveaux de sortie des étages amplificateurs dans une chaîne d'acquisition de dispositif de détection de rayonnement.

L'ajout en parallèle d'un dispositif d'interruption permet d'aider en vitesse la chaîne à RAZ continue lors de la phase de retour au point d'équilibre. De plus, pour réaliser ce dispositif il

suffit de rajouter simplement un élément de commutation SWT piloté par le signal d'impulsions logiques SLOG en parallèle au dispositif de décharge RAZ (réglé à Irazmin).

5 Les avantages de cette architecture sont les suivants :

Il s'agit d'une chaîne purement analogique, sans horloge de pilotage dans la partie analogique (donc aucun parasite de commutation) avec des points de repos statiques stables. De plus, si le détecteur a un courant d'obscurité inférieur au courant de décharge Iraz du montage à amplificateur CSA, ce courant de fuite n'a plus d'influence sur le fonctionnement de la chaîne d'acquisition analogique de chaque pixel, car il 10 est immédiatement supprimé en permanence par le dispositif de décharge RAZ.

De façon avantageuse, dès l'instant suivant le comptage d'un évènement, chaque pixel se repositionne exactement à son point de repos qui lui 20 est propre. Les seules sources de bruit sont celles liées à l'électronique qui sont inévitables.

De par sa fonction, le courant Iraz du dispositif de décharge RAZ nécessite peu de précision ni d'homogénéité entre les pixels. Ainsi, on peut 25 relâcher les contraintes d'architecture et d'implantation.

De façon avantageuse le dispositif de double réinitialisation selon l'invention, occupe très peu de place dans le schéma d'implantation du circuit 30 d'acquisition d'une chaîne d'acquisition. Ceci est particulièrement important pour la réalisation de

chaîne d'acquisition sous pixel dans une structure matricielle de dispositif de détection.

Par conséquent l'invention peut être mise en œuvre dans des architectures simples et robustes, 5 ayant déjà fait preuve de leur fiabilité.

APPLICATIONS DE L'INVENTION

L'invention peut s'appliquer à la réalisation de tout type de dispositif de détection et de mesure d'exposition à des rayonnements.

10 L'invention s'applique particulièrement à la réalisation de détecteurs d'imagerie utilisés en radiologie, domaine dans lequel on détecte des photons de rayons X, dans ce cas. Cependant, il est clair que l'invention s'applique à la détection de tout type de 15 photon ou de particule.

Le dispositif s'applique particulièrement avantageusement à la réalisation de détecteurs agencés selon une architecture matricielle, notamment aux senseurs matriciels formés d'un réseau de pixels, 20 utilisés en imagerie.

D'autres applications, variantes et modes de réalisation pourront être mis en œuvre par l'homme de métier sans sortir du cadre de la présente invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure d'exposition à des rayonnements comprenant au moins un élément de détection de photons ou de particules associé à au moins un circuit d'acquisition et de comptage des événements de détection, caractérisé en ce que la courbe de réponse du nombre d'événements comptés en fonction du nombre de photons ou de particules captés par chaque élément de détection, est monotone croissante.

2. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel la courbe de réponse présente une première plage de réponse croissante de façon sensiblement linéaire, le nombre d'événements comptés augmentant proportionnellement au nombre de photons ou de particules captés, suivie d'une seconde plage de réponse simplement croissante, le nombre d'événements comptés continuant à augmenter ou restant stable tant qu'augmente le nombre de photons ou de particules captés.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant une entité de détection formée d'une pluralité de détecteurs élémentaires associés respectivement à une pluralité de circuits d'acquisition et de comptage d'événements formant une entité de traitement électronique disposée selon un agencement matriciel.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le circuit d'acquisition comprend un circuit de traitement de signaux délivrant des impulsions de comptage correspondant aux événements de détection, le dispositif comprenant des moyens pour réinitialiser de manière discontinue le circuit de traitement de signaux d'impulsions.

10 5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens pour déclencher un courant de réinitialisation dans un étage d'accumulation de charge du circuit d'acquisition.

15 6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens pour, après chaque événement de détection, déclencher rapidement ou après une phase de conversion de charge en impulsion, le retour à un point de repos de fonctionnement d'un étage d'amplification du circuit 20 d'acquisition.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens pour 25 décharger des moyens capacitifs d'un étage d'accumulation de charge, en réponse à chaque événement détecté.

8. Dispositif selon la revendication 30 précédente, comprenant des moyens pour abréger la décharge des moyens capacitifs.

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens pour générer deux valeurs de courant de décharge dans un étage de conversion de charge.

5

10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant des moyens pour commuter la valeur du courant de décharge dans un étage amplificateur d'accumulation de charge.

10

11. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 10, dans lequel le courant de décharge de l'étage d'accumulation de charge prend une première valeur durant les temps de repos et une 15 seconde valeur lors de la détection d'un événement, la seconde valeur étant supérieure à la première valeur.

12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel un étage de 20 conversion de charge comporte une source de courant de décharge continue et une source de courant de décharge déclenchée ou commutée.

13. Dispositif selon l'une des 25 revendications précédentes, comprenant des moyens de commutation aptes à court-circuiter des moyens capacitifs d'un étage de conversion de charge.

14. Dispositif selon l'une des 30 revendications précédentes, dans lequel le circuit d'acquisition comprend un étage d'accumulation de

charge comprenant une source de courant et un commutateur reliés en parallèle à des bornes d'entrée et de sortie d'un amplificateur et/ou d'une capacité.

5 15. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 14, dans lequel la valeur du courant de décharge de l'étage d'accumulation de charges durant les temps de repos est réglée à une valeur de l'ordre du courant parasite, de fuite ou
10 d'obscurité de l'élément détecteur.

15 16. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le circuit d'acquisition et de comptage comprend une boucle d'asservissement ou de rétroaction entre un point en aval d'un étage d'accumulation de charge et ledit étage.

20 17. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel la boucle de commande d'asservissement retransmet des signaux d'impulsions de comptage.

25 18. Dispositif selon la revendication 16 ou 17, dans lequel la boucle d'asservissement transmet un signal issu d'un étage comparateur de seuil.

30 19. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 18, dans lequel la boucle d'asservissement commande des moyens de commutation

reliés à des bornes de l'étage d'accumulation de charge.

20. Dispositif selon l'une des
5 revendications 16 à 19, dans lequel la boucle d'asservissement commande une source de courant de décharge.

21. Dispositif selon l'une des
10 revendications précédentes, comprenant des moyens pour augmenter l'amplitude de montée d'un signal d'impulsions émis lors de chaque événement de détection associés à des moyens pour réduire le temps de descente dudit signal.

1 / 7

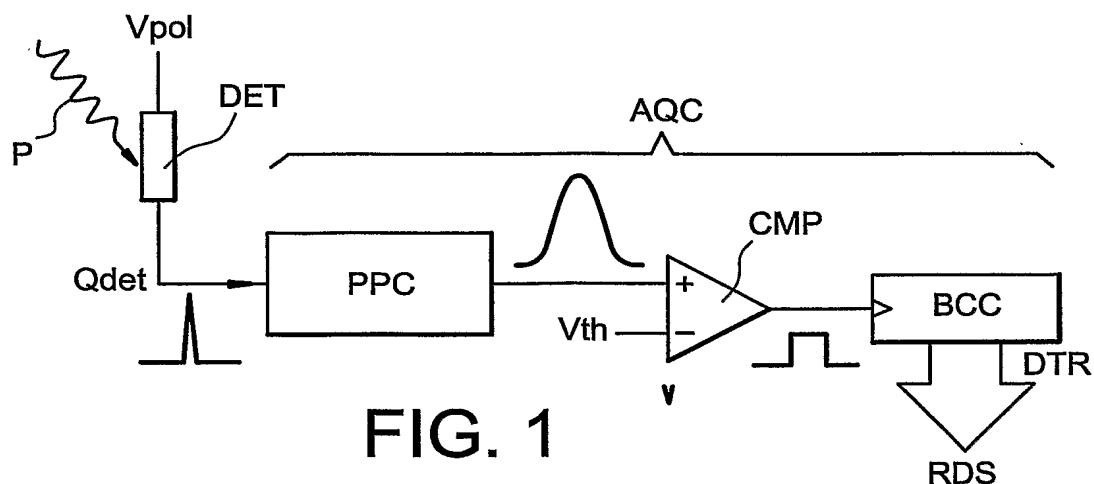


FIG. 1

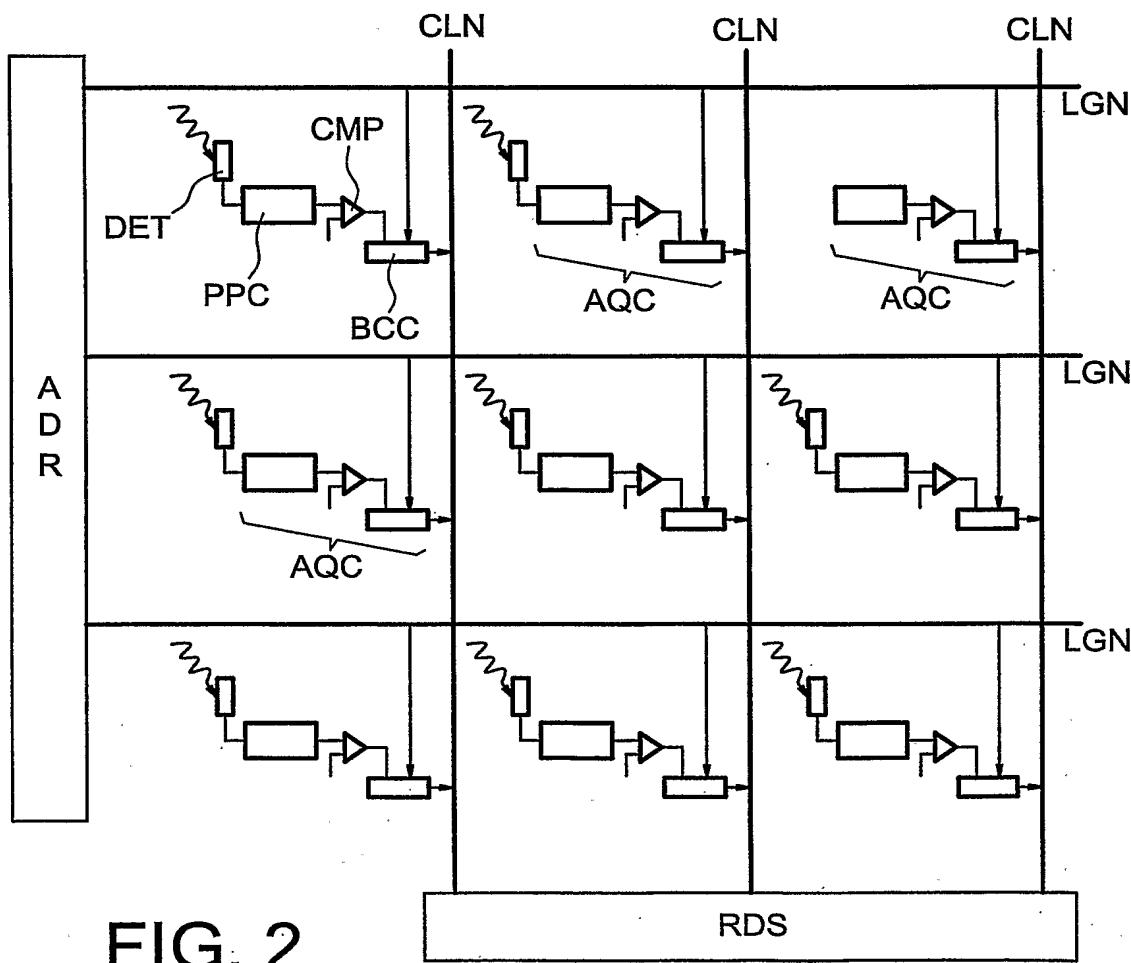


FIG. 2

2 / 7

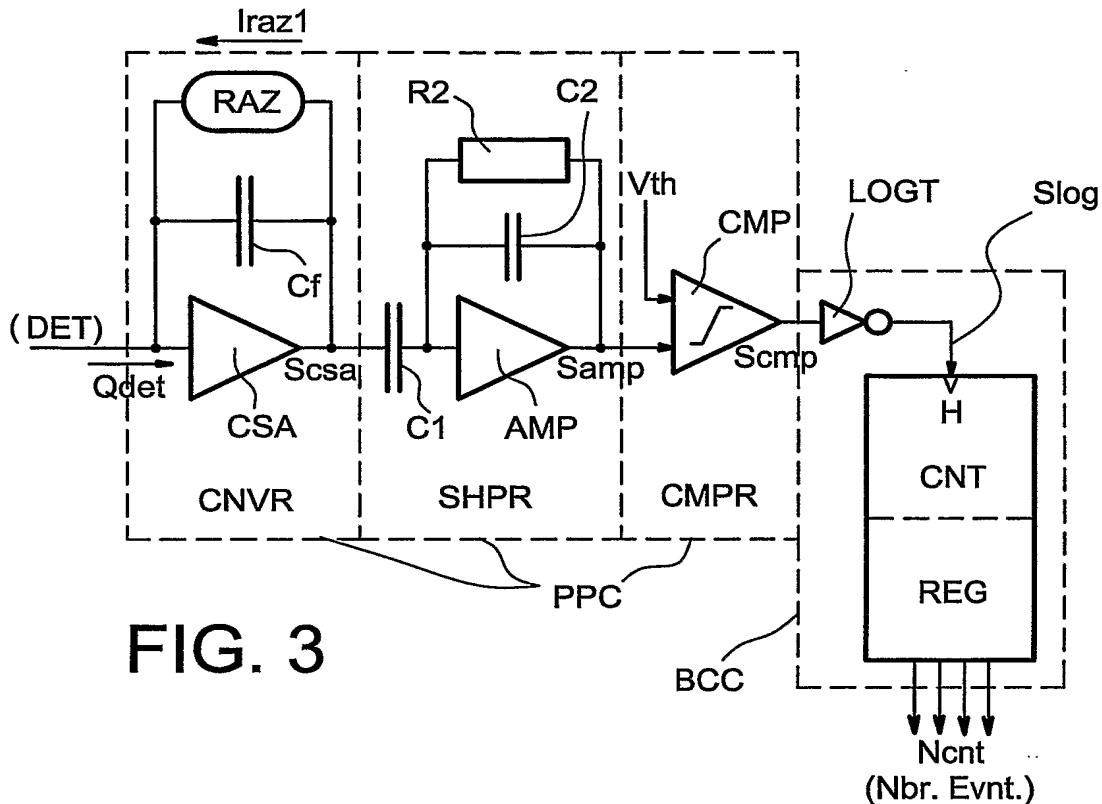


FIG. 3

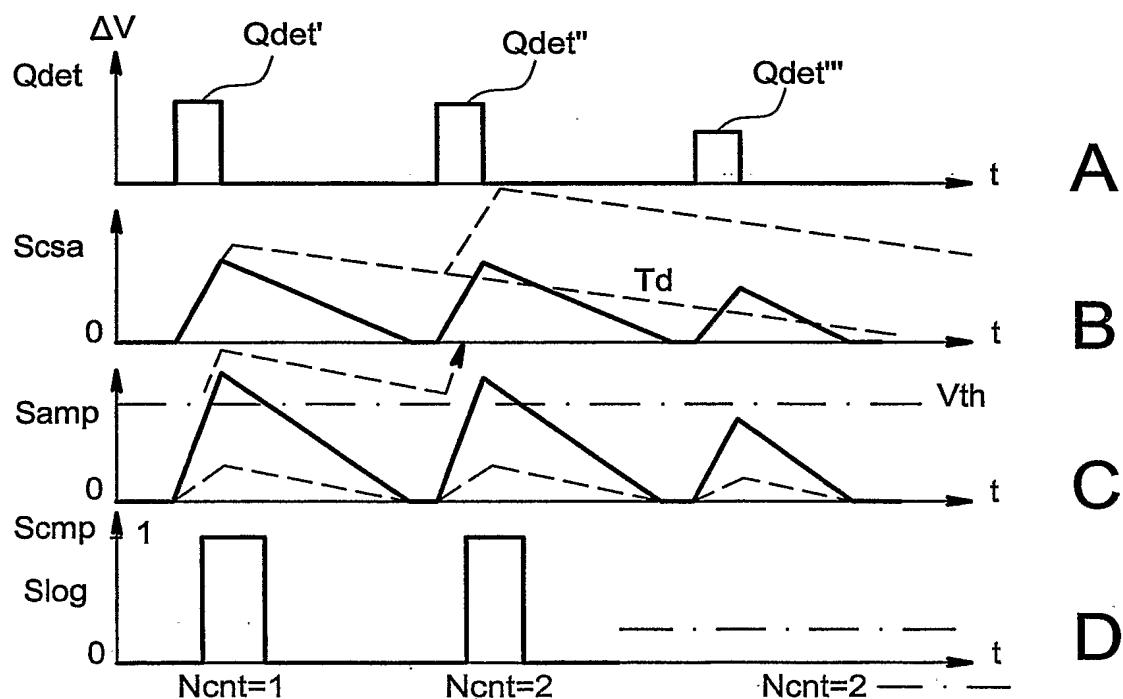
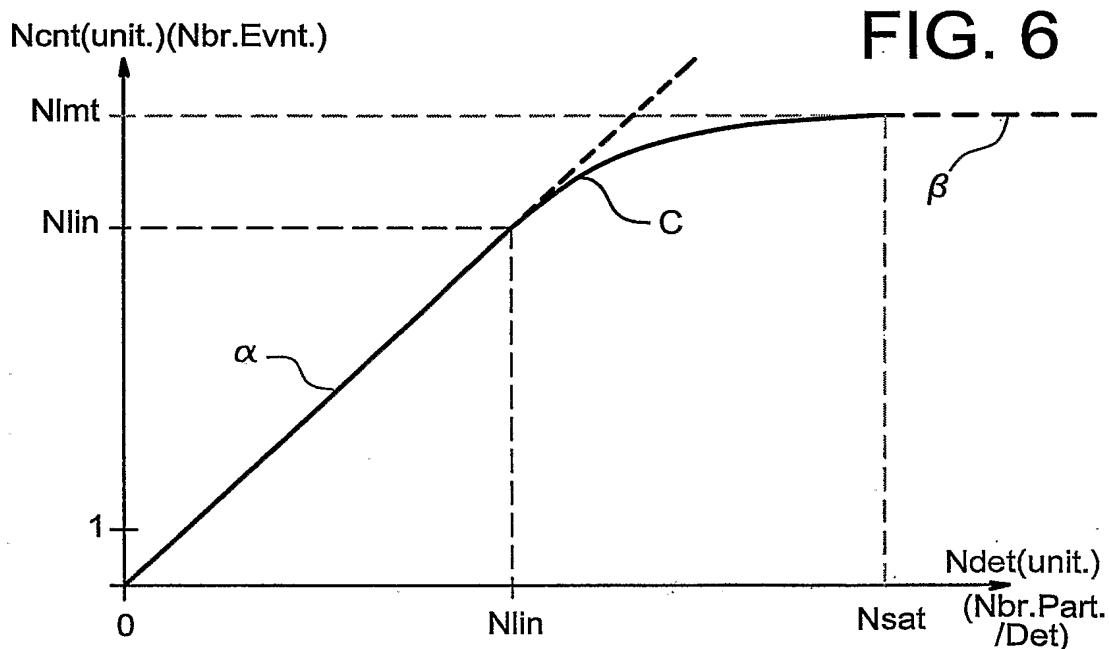
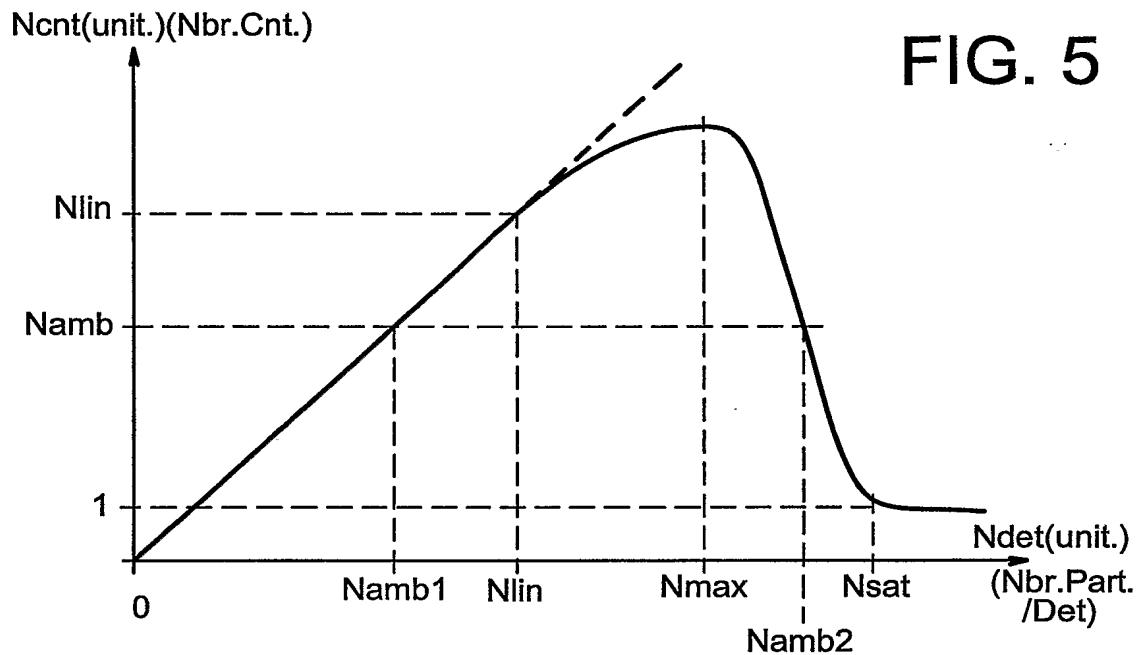


FIG. 4

3 / 7



4 / 7

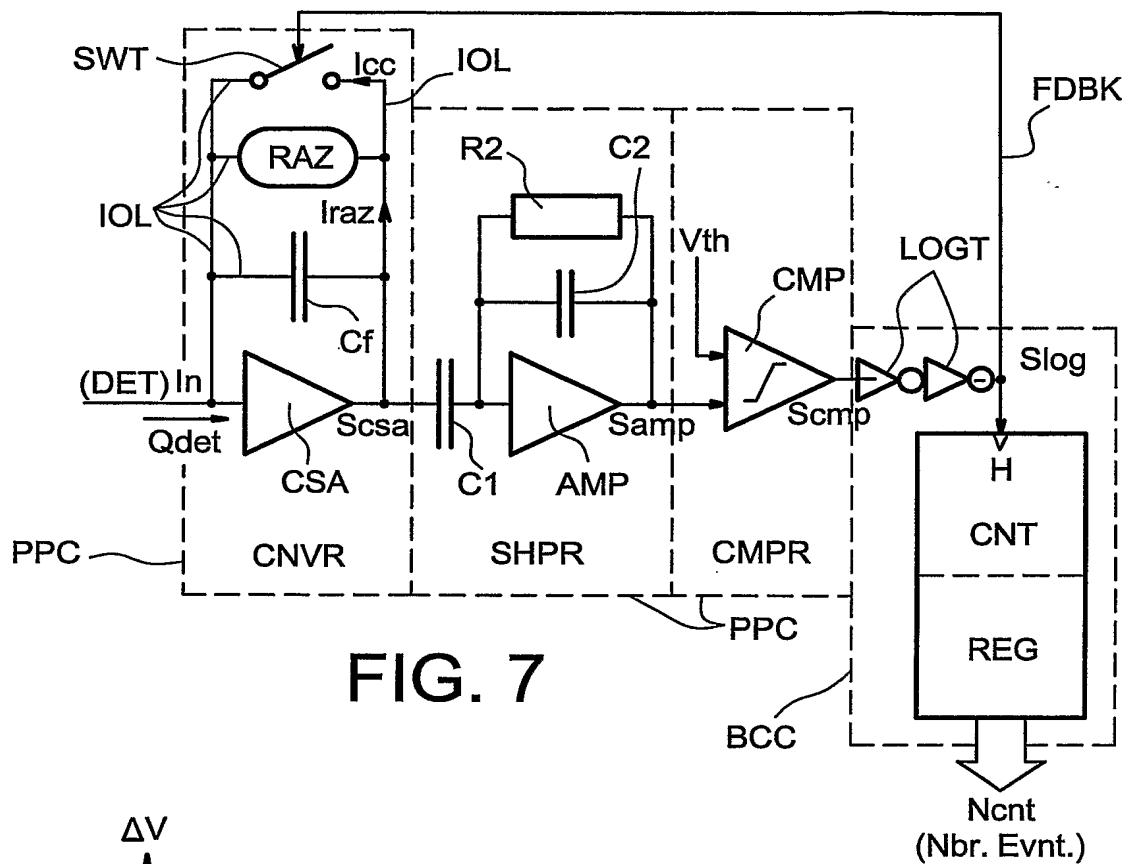


FIG. 7

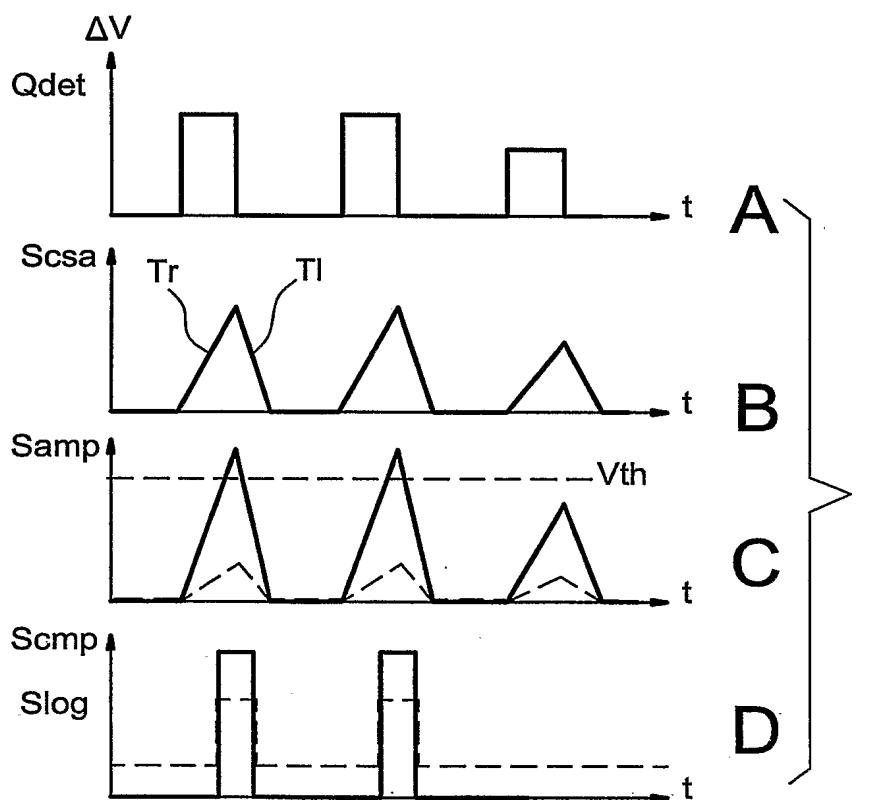


FIG. 8

5 / 7

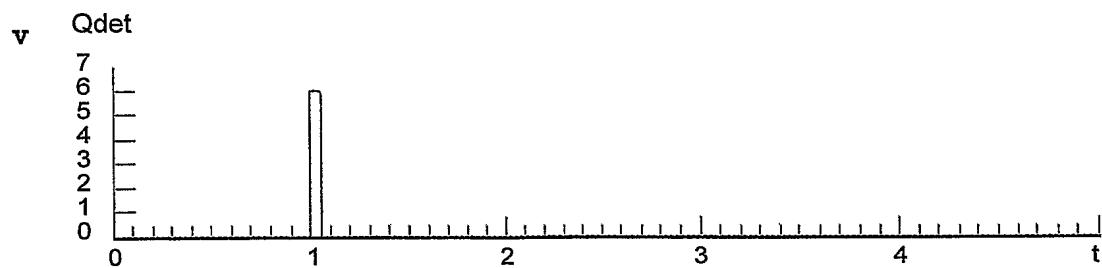


FIG. 9A

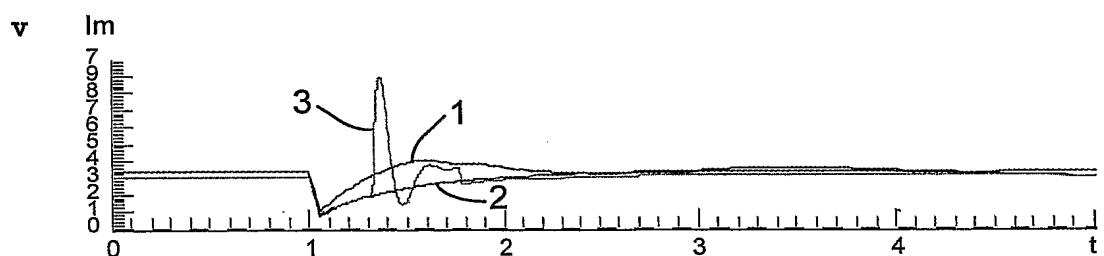


FIG. 9B

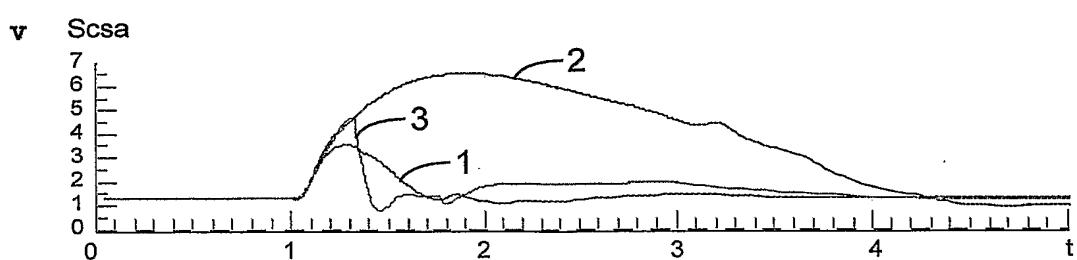


FIG. 9C

6 / 7

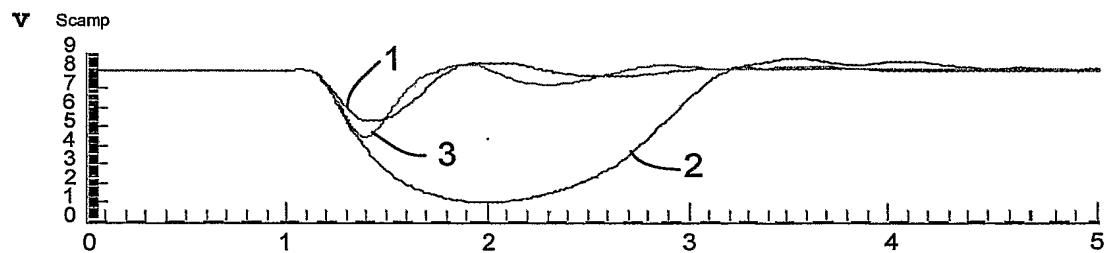


FIG. 9D

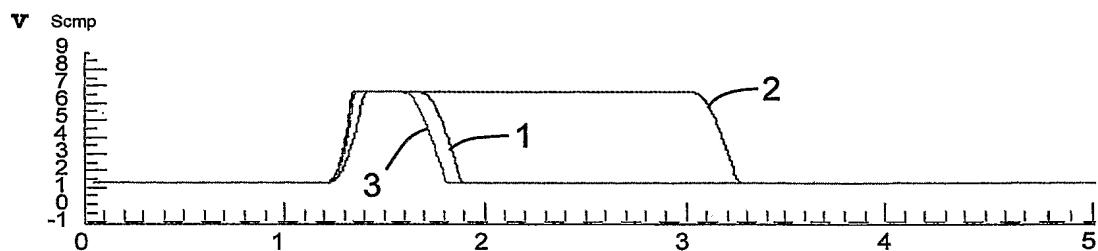


FIG. 9E

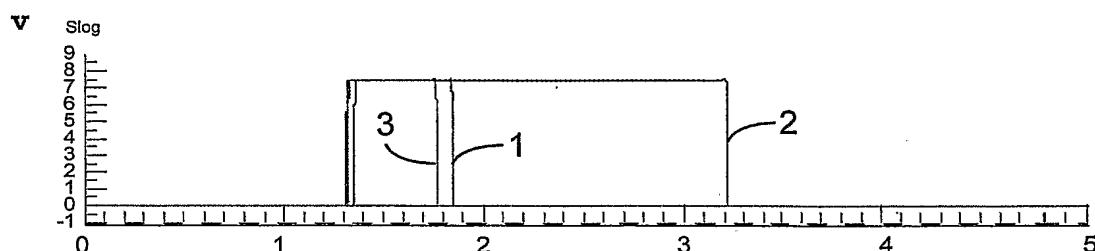
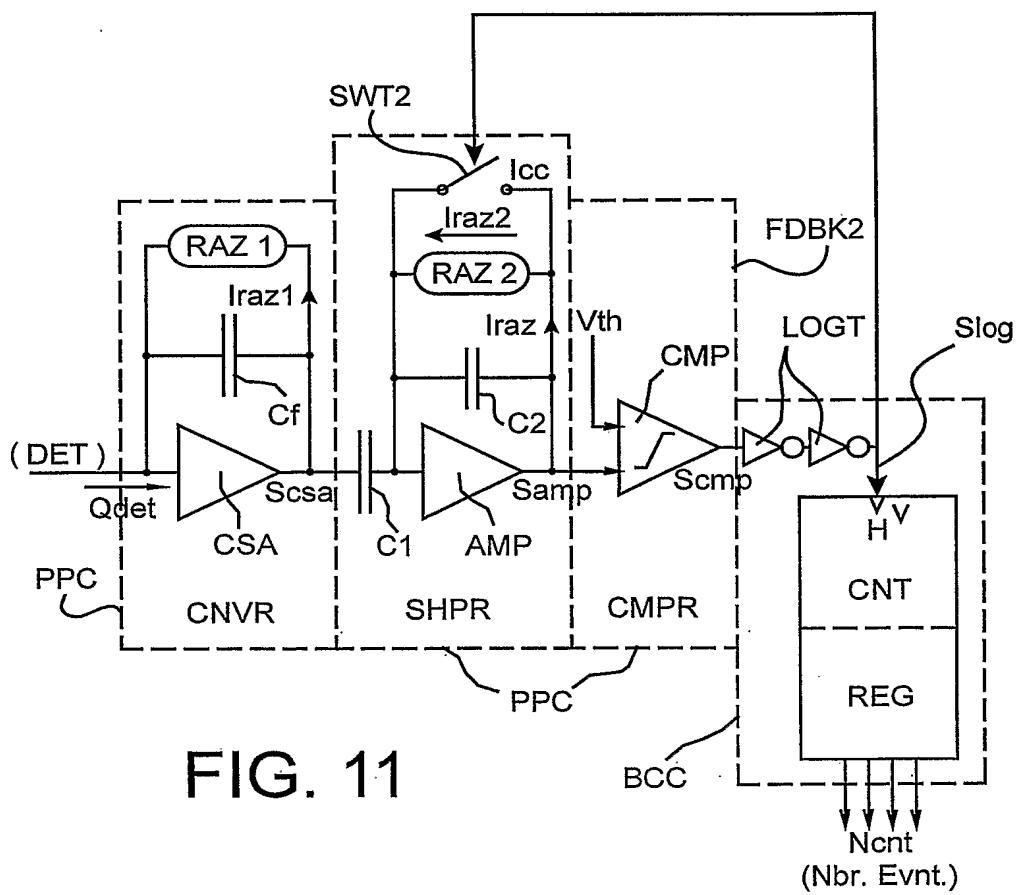
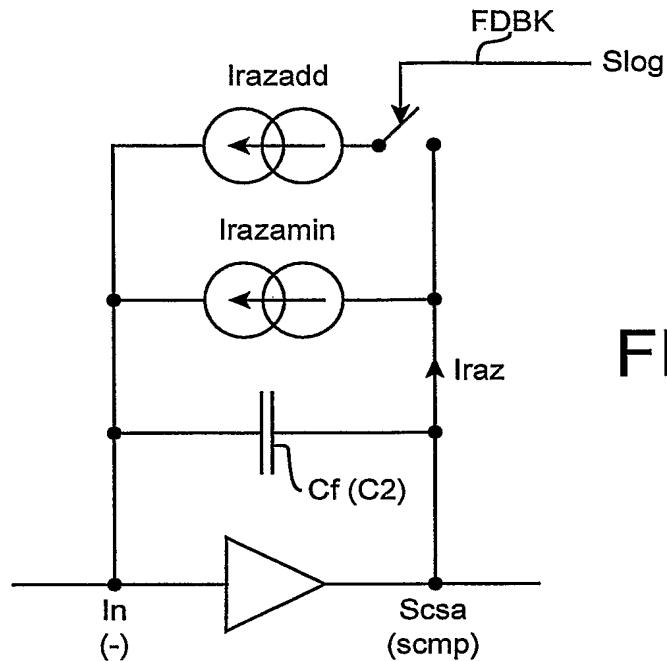


FIG. 9F

7 / 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/003406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01T1/17

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 034 222 A (BOUX RENE ET AL) 5 July 1977 (1977-07-05) column 2, line 45 – line 54; figure 1 -----	1
X	EP 0 022 949 A (SIEMENS AG) 28 January 1981 (1981-01-28) page 4, line 17 – page 5, line 23; figure 1 -----	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 01, 31 January 1996 (1996-01-31) -& JP 07 239385 A (SHIMADZU CORP), 12 September 1995 (1995-09-12) abstract ----- -/-	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 May 2005

Date of mailing of the international search report

02/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Anderson, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/003406

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Z.Y. CHANG AND W.M.C. SANSEN: "Low-noise wide-band amplifiers in bipolar and CMOS technologies" 1991, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS , XP008036864 cited in the application page 153, line 1 - line 20; figure 5.1 -----	1
A	US 4 198 986 A (SUZUKI KENJI) 22 April 1980 (1980-04-22) column 1, line 6 - line 10 column 4, line 10 - line 23; claim 1; figure 5 column 6, line 38 - line 46; figure 8 -----	1
A	DE 43 04 349 A (KUGELFISCHER G SCHAEFER & CO) 18 August 1994 (1994-08-18) column 1, line 3 - line 43; figure 1 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/003406

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 4034222	A 05-07-1977	FR CA DE GB JP JP JP	2308109 A1 1054261 A1 2616652 A1 1516425 A 1383491 C 51128862 A 61039065 B	12-11-1976 08-05-1979 28-10-1976 05-07-1978 09-06-1987 10-11-1976 02-09-1986
EP 0022949	A 28-01-1981	DE EP JP	2926902 A1 0022949 A2 56011376 A	22-01-1981 28-01-1981 04-02-1981
JP 07239385	A 12-09-1995	NONE		
US 4198986	A 22-04-1980	JP JP JP	1433848 C 53066273 A 62031304 B	07-04-1988 13-06-1978 07-07-1987
DE 4304349	A 18-08-1994	DE	4304349 A1	18-08-1994

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/FR2004/003406

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 GO1T1/17

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 GO1T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 4 034 222 A (BOUX RENE ET AL) 5 juillet 1977 (1977-07-05) colonne 2, ligne 45 – ligne 54; figure 1 -----	1
X	EP 0 022 949 A (SIEMENS AG) 28 janvier 1981 (1981-01-28) page 4, ligne 17 – page 5, ligne 23; figure 1 -----	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 01, 31 janvier 1996 (1996-01-31) -& JP 07 239385 A (SHIMADZU CORP), 12 septembre 1995 (1995-09-12) abrégé ----- -/-	1

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

02/06/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Anderson, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/FR2004/003406

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	Z.Y. CHANG AND W.M.C. SANSEN: "Low-noise wide-band amplifiers in bipolar and CMOS technologies" 1991, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS , XP008036864 cité dans la demande page 153, ligne 1 - ligne 20; figure 5.1 -----	1
A	US 4 198 986 A (SUZUKI KENJI) 22 avril 1980 (1980-04-22) colonne 1, ligne 6 - ligne 10 colonne 4, ligne 10 - ligne 23; revendication 1; figure 5 colonne 6, ligne 38 - ligne 46; figure 8 -----	1
A	DE 43 04 349 A (KUGELFISCHER G SCHAEFER & CO) 18 août 1994 (1994-08-18) colonne 1, ligne 3 - ligne 43; figure 1 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2004/003406

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 4034222	A 05-07-1977	FR CA DE GB JP JP JP	2308109 A1 1054261 A1 2616652 A1 1516425 A 1383491 C 51128862 A 61039065 B	12-11-1976 08-05-1979 28-10-1976 05-07-1978 09-06-1987 10-11-1976 02-09-1986
EP 0022949	A 28-01-1981	DE EP JP	2926902 A1 0022949 A2 56011376 A	22-01-1981 28-01-1981 04-02-1981
JP 07239385	A 12-09-1995	AUCUN		
US 4198986	A 22-04-1980	JP JP JP	1433848 C 53066273 A 62031304 B	07-04-1988 13-06-1978 07-07-1987
DE 4304349	A 18-08-1994	DE	4304349 A1	18-08-1994